



Reconstruction d'événements top-antitop à l'aide des premières données du détecteur ATLAS sur le collisionneur LHC du CERN

Diane Cinca

► To cite this version:

Diane Cinca. Reconstruction d'événements top-antitop à l'aide des premières données du détecteur ATLAS sur le collisionneur LHC du CERN. Journées de Rencontre Jeunes chercheurs 2009, JRJC 2009, 2009, Barbaste, France. in2p3-00461399

HAL Id: in2p3-00461399

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00461399>

Submitted on 4 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Table des matières

I	Nom de la session	3
	Diane Cinca : <i>Reconstruction d'événements top-antitop à l'aide des premières données du détecteur ATLAS sur le collisionneur LHC du CERN</i>	5
1.1	Intérêt de la physique du quark top	5
1.2	Contexte expérimental	5
1.3	Sélection de jets dans les canaux $t\bar{t} \rightarrow e\nu b\bar{b}q\bar{q}$ et $t\bar{t} \rightarrow \mu\nu b\bar{b}q\bar{q}$	6
1.4	Reconstruction de la masse du top	7
1.5	Conclusion et perspectives	8

Première partie

Nom de la session



François
RABELAIS



Rabelais
FRANÇOIS

Reconstruction d'événements top-antitop à l'aide des premières données du détecteur ATLAS sur le collisionneur LHC du CERN

Diane Cinca

Laboratoire de Physique Corpusculaire, Université Blaise Pascal, Aubière



Résumé

Le grand collisionneur de hadrons (LHC) va produire dans les mois à venir des collisions proton-proton d'une énergie de 7 TeV dans le centre de masse. Nous introduisons ici l'intérêt de la physique du quark top et une méthode améliorée pour la reconstruction de sa masse dans le canal semi-leptonique développée à partir de simulations Monte Carlo. Nous montrons l'intérêt des analyses multivariées pour la sélection des jets et les améliorations qu'elles apportent sur la résolution de la mesure de la masse.

1.1 Intérêt de la physique du quark top

Du fait de sa haute masse, le quark top est un jalon important pour comprendre la physique des particules. La mesure de ses paramètres nous permettra de tester le modèle standard avec précision. La mesure précise de sa masse couplée à celle du boson W contraindra la masse du boson de Higgs.

C'est aussi un partenaire privilégié pour la Nouvelle Physique, il constitue un bruit de fond majeur pour la recherche de Nouvelle Physique et est un outil de validation du détecteur. La reconstruction précise du quark top est l'un des points clés pour ces mesures. Dans notre étude, nous nous focalisons sur la sélection des jets pour la reconstruction du quark top hadronique.

1.2 Contexte expérimental

Le quark top a été découvert en 1995 au TeVatron, collisionneur proton-antiproton. Après 19 ans d'accumulation de statistiques, les expériences CDF et D0 du TeVatron ont permis de mesurer en 2009 la masse du quark top la plus précise actuellement à $M_{\text{top}} = 173.1 \pm 0.6 \pm 1.1 \text{ GeV}/c^2$ [1].

La même année, un nouveau collisionneur de particules a démarré au CERN, le LHC. Il s'agit du collisionneur hadronique (proton-proton) le plus puissant jamais construit. En conditions nominales, l'accélérateur produira une énergie de 7 TeV pour chaque faisceau, soit une énergie de 14 TeV dans le centre de masse à chaque collision. Avec un croisement de paquets de protons toutes les 25 ns, le LHC produira 30000 quarks top par jour au minimum. En comparaison des 100000 quarks top produits par le TeVatron depuis 1995, ce nouveau collisionneur représente une véritable *usine à*

top.

Six expériences ont été construites aux points de collision de l'accélérateur. Parmi celles-ci on trouve ALICE ; spécialisée dans la physique des ions lourds, LHCb, dédiée à la physique des mésons beaux, LUCID et TOTEM, chargées des mesures de sections efficaces. Deux expériences généralistes ATLAS et CMS. Elles sont destinées aussi bien à la recherche directe de Nouvelle Physique qu'à des mesures de précision dans le cadre du modèle standard.

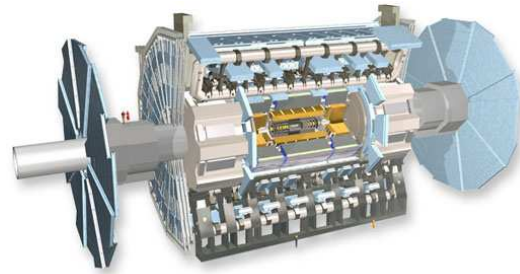


FIG. 1.1 – Coupe du détecteur ATLAS.

Notre étude a lieu dans le cadre de l'expérience ATLAS. Le détecteur ATLAS mesure 46 mètres de long pour un diamètre de 25 mètres. Etant un détecteur généraliste, il doit être capable d'identifier et de reconstruire précisément tous les paramètres des particules du modèle standard ainsi que celles envisagées par des théories de Nouvelle Physique. Pour répondre à ces contraintes de recherche, le détecteur est organisé en sous-détecteurs concentriques :

- le détecteur de traces qui mesure la quantité de mouvement des particules chargées, il permet aussi de reconstruire les vertex de désintégration de particules.
- le calorimètre électromagnétique qui mesure l'énergie des photons et des électrons
- le calorimètre hadronique mesure l'énergie déposée par les hadrons
- le spectromètre à muons, destiné à identifier les muons

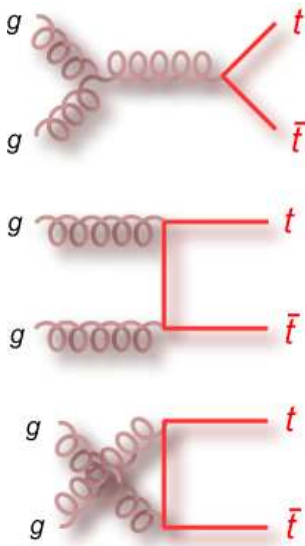


FIG. 1.2 – Le mode de production de quarks top prédominant au LHC dans les conditions nominales sera la fusion de gluons.

1.3 Sélection de jets dans les canaux $t\bar{t} \rightarrow e\nu b\bar{b}q\bar{q}$ et $t\bar{t} \rightarrow \mu\nu b\bar{b}q\bar{q}$

Au LHC, les quarks top seront produits majoritairement en paires par fusion de quarks ou de gluons. La figure 1.3 présente les mode de désintégration d'une paire de quarks top. Le canal le plus prometteur pour notre étude est le canal semi-leptonique, dit lepton+jets, qui a un rapport d'embranchement de 30 % (en excluant les désintégrations en leptons tau).

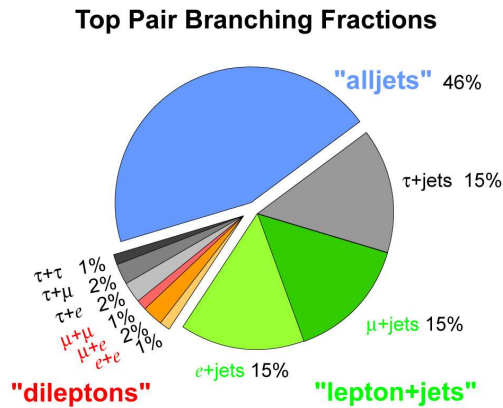


FIG. 1.3 – Modes de désintégration d'une paire de quarks top.

Selon le principe de confinement, les quarks ne peuvent pas exister isolés. Ils s'associent à d'autres quarks issus de radiations de gluons pour former des hadrons qui se désintégreront. On appelle ces désintégrations successives des *jets*. Les collisions de hadrons

mettent en jeu un grand nombre de quarks et à chaque collision de nombreux jets sont produits se superposant aux événements de physique que nous voulons étudier. Avec seulement un neutrino, un lepton et quatre jets dans l'état final, le canal semi-leptonique est un bon compromis entre l'efficacité du signal et le niveau de bruit de fond.

Nous nous concentrerons sur la reconstruction du quark top hadronique. Avec trois jets dans son état final, la problématique reste de sélectionner les jets provenant réellement de la désintégration du top hadronique avec la meilleure efficacité. L'association d'un jet provenant du bruit de fond hadronique de la collision à l'événement de physique que nous voulons étudier entraîne une mauvaise reconstruction du quark top et une erreur dans la mesure des paramètres, c'est ce qu'on appelle un *bruit de fond combinatoire*.

1.3.1 Analyse géométrique

Le principe [2] est de sélectionner les jets par proximité topologique. Ce paramètre est caractérisé par la variable $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$ à partir de la géométrie du détecteur, où η est la pseudo-rapacité et ϕ l'angle entre le plan transverse et le plan vertical par rapport à l'axe de faisceau. Les deux jets émis par le boson W sont choisis comme étant les deux plus proches en ΔR . Une fois le boson W reconstruit, le jet le plus proche en ΔR est sélectionné comme étant celui issu du quark b. On peut alors reconstruire le quark top avec une bonne efficacité. De nombreuses coupures de purification ont été développées pour cette sélection, elles peuvent par exemple contraindre la masse invariante des deux jets du W reconstruit ou encore l'énergie du jet de quark b associé au côté hadronique. Ces coupures permettent d'obtenir une grande pureté en quarks top bien reconstruits. Notre but est d'améliorer cette méthode en utilisant les analyses multivariées.

1.3.2 Analyses multivariées

Contrairement à la méthode géométrique qui n'utilise qu'une seule variable, nous voulons combiner plusieurs variables au sein d'une analyse multivariée (MVA) pour augmenter la pureté et le taux d'événements bien reconstruits dans notre lot d'étude. Les variables implémentées sont les paramètres angulaires, la masse du W reconstruit et les énergies des jets.

Une première méthode utilise les analyses multivariées pour éliminer les événements mal reconstruits du lot obtenu par sélection géométrique pour reconstruire les candidats top.

Dans une deuxième méthode, nous calculons toutes les combinaisons de triplets de jets et les analyses multivariées sont utilisées pour sélectionner le meilleur candidat top pour chaque événement.

Dans la figure 1.4, nous utilisons les analyses multivariées pour la sélection des jets et nous pouvons voir que nous améliorons grandement l'efficacité. Cette méthode nous permet de gagner 35% de quarks top bien

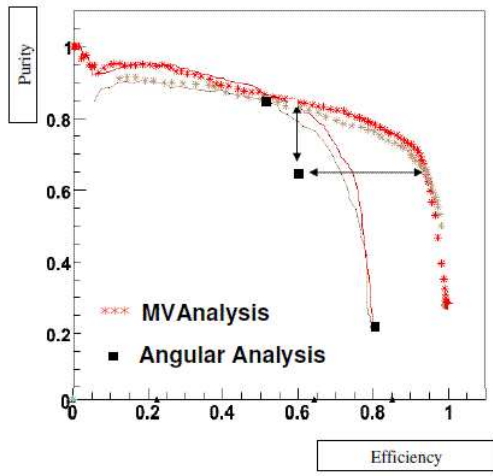


FIG. 1.4 – Pureté du lot versus efficacité du signal. Les carrés noirs représentent les résultats de la sélection de jets par analyse géométrique après application de différentes coupures de purification. Les lignes représentent les résultats obtenus pour la purification du lot où les jets ont été par méthode géométrique. Les étoiles représentent les résultats pour la sélection des jets par analyse multivariable.

reconstruits en comparaison de l'analyse géométrique. Il s'agit donc d'un outil pour la reconstruction de la masse du quark top. Il est important de constater que la sélection par analyses multivariables améliore la sélection géométrique à laquelle des coupures de purification supplémentaires ont déjà été rajoutées. On garde donc un quark top reconstruit par événement avec les multivariables alors que l'analyse géométrique mène à une statistique plus faible puisqu'elle doit couper sur des événements pour aboutir à un échantillon suffisamment riche en quarks top bien reconstruits. En plus d'améliorer la reconstruction, on garde donc une statistique élevée en utilisant cette nouvelle méthode.

1.4 Reconstruction de la masse du top

Une fois effectuée la sélection des jets, on peut reconstruire le quark top hadronique et mesurer sa masse. En appliquant également cette sélection sur les différents lots de bruits de fond, on obtient la figure 1.6. Pour identifier les améliorations apportées par les analyses multivariables, on reconstruit la masse invariante de toutes les combinaisons de jets enregistrés avant sélection de la meilleure combinaison de jets (Fig 1.5). On voit que la distribution est dominée par une large queue correspondant à toutes les mauvaises combinaisons de jets reconstruites.

La comparaison des distributions de masses avant et après sélection nous montre que les analyses multivariables nous permettent de rejeter très majoritairement

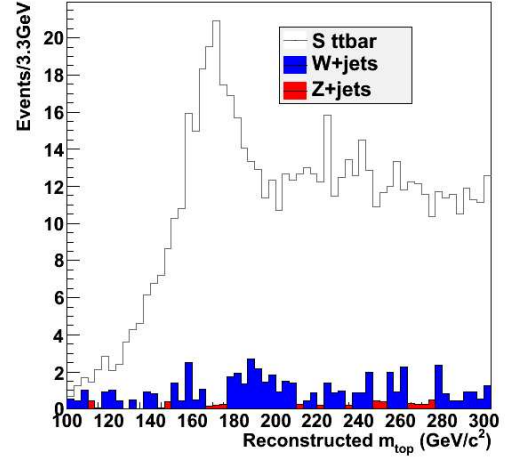


FIG. 1.5 – Reconstruction de la masse de tous les candidats top hadroniques pour une luminosité de $100pb^{-1}$. La queue de distribution au delà de 170 GeV correspond au bruit de fond combinatoire. En noir, le signal $t\bar{t}$, la courbe bleue représente le bruit de fond physique W +jets et la courbe rouge Z +jets.

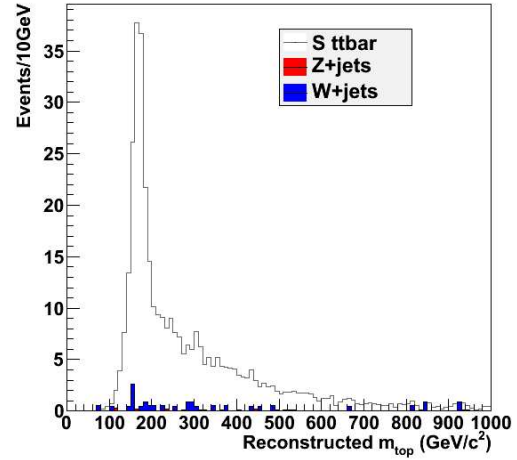


FIG. 1.6 – Reconstruction de la masse du quark top hadronique après sélection de la meilleure combinaison de jets par analyse multivariables, pour une luminosité de $100pb^{-1}$. En noir, le signal $t\bar{t}$, la courbe bleue représente le bruit de fond physique W +jets et la courbe rouge Z +jets.

le bruit de fond combinatoire. L'application au bruit de fond physique montre une diminution des fausses masses reconstruites sous le pic du signal, ce qui permet une meilleure précision sur la mesure de masse.

1.5 Conclusion et perspectives

Les analyses multivariées nous permettent d'améliorer la reconstruction des quarks top hadroniques de plus de 35% en comparaison d'une analyse géométrique. Dans la mesure de la masse du top, on observe que notre sélection rejette grandement le bruit de fond combinatoire cause principale de la dégradation de la résolution sur la mesure.

Les conditions nominales du LHC, soit une énergie de 14 TeV dans le centre de masse à chaque collision, ne seront pas atteintes avant 2013 ou 2014 [3]. Entretemps, l'accélérateur fournira une énergie de 3.5 TeV par faisceau jusqu'à accumuler une statistique équivalente à une luminosité de 1 fb^{-1} . Il est donc nécessaire de modifier nos analyses en conditions nominales aux exigences des premières données. Il est néanmoins important de noter que les conditions de démarrage devraient nous permettre de faire une première mesure directe de la masse du quark top dans les premiers mois de fonctionnement et d'atteindre la précision statistique du TeVatron dans la première année.

Remerciements

Je souhaite remercier les gentils organisateurs de nous avoir offert une semaine aussi riche sur le plan humain et scientifique, nos responsables de session pour leur soutien et leurs idées et tout ceux qui étaient là pour les souvenirs que nous en garderons.

Références

- [1] The Tevatron Electroweak Working Group for the CDF and D0 Collaborations, 2009, FERMILAB-TM-2427-E
- [2] G. Aad *et al.* [The ATLAS Collaboration] arXiv :0901.0512 [hep-ex].
- [3] LHC Performance Workshop - Chamonix 2010